

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-054521

(43)Date of publication of application : 27.02.1996

(51)Int.Cl.

G02B 6/00
G02B 6/18

(21)Application number : 06-210379

(71)Applicant : NIPPON PETROCHEM CO LTD

(22)Date of filing : 11.08.1994

(72)Inventor : KAWAMATA MICHINORI
MATSUMURA YASUO
KASAMA HIDENORI
MIURA RYOICHI
KIYOTA NOBORU

(54) PLASTIC OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a plastic optical fiber having high numerical aperture, wide transmission range and excellent bending resistance by forming a layer as a reflecting layer to reflect inner light around the peripheral part of a fiber in such a manner that the refractive index of the reflecting layer is lower than that of the peripheral part.

CONSTITUTION: This plastic optical fiber has a continuous gradient of the refractive index from the peripheral part to the center part and has a layer as a reflecting layer to reflect inner light formed around the peripheral part. This reflecting layer has lower refractive index than that of the peripheral part. To obtain an optical fiber having a wide transmission range, the difference of refractive index between the center part and the peripheral part is ≤ 0.035 , preferably 0.001 to 0.035. To obtain an optical fiber having high numerical aperture and excellent bending resistance, the larger difference of the refractive index between the center part and the reflecting layer is the more preferable, and it is proper to specify the difference to at least > 0.08 . The reflecting layer is formed to 1 to 200 μm thickness, preferably 3 to 20 μm thickness.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 09.03.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-54521

(43) 公開日 平成8年(1996)2月27日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/00 6/18	3 9 1			

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-210379

(22) 出願日 平成6年(1994)8月11日

(71) 出願人 000231682

日本石油化学株式会社

東京都千代田区内幸町1丁目3番1号

(72) 発明者 川股 理記

神奈川県川崎市中原区宮内438

(72) 発明者 松村 泰男

神奈川県横浜市泉区上飯田4663-1-205

(72) 発明者 笠間 秀徳

神奈川県横浜市神奈川区松本町1-5-3
-608

(72) 発明者 三浦 良一

神奈川県中郡二宮町富士見が丘1-25-9

(74) 代理人 弁理士 前島 肇

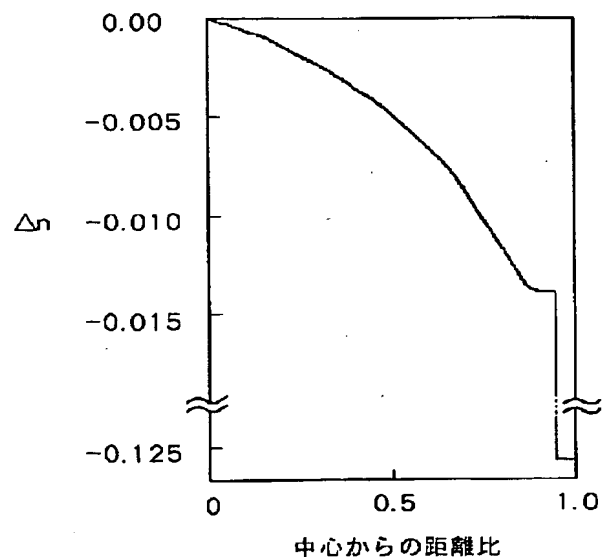
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラスチック光ファイバ

(57) 【要約】

【目的】 耐屈曲性に優れたG I型プラスチック光ファイバを提供する。

【構成】 周辺部から中心部に向かって連続的な屈折率勾配を有するプラスチック光ファイバの外周に、周辺部よりも屈折率が低い層を反射層として設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周辺部から中心部に向かって連続的な屈折率勾配を有するプラスチック光ファイバにおいて、内部光を反射させるための反射層として、周辺部の外側に該周辺部よりも屈折率が低い層を設けたことを特徴とするプラスチック光ファイバ。

【請求項 2】 中心部と反射層との屈折率の差が 0.08 以上である請求項 1 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 3】 中心部と周辺部との屈折率の差が 0.035 以下である請求項 1 または 2 に記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 4】 反射層の厚みが 1～200 μm の範囲である請求項 1 から 3 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

【請求項 5】 反射層が含フッ素透明樹脂または透明なシリコン樹脂からなる請求項 1 から 4 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、周辺部から中心部に向かって連続的な屈折率勾配を有し、耐屈曲性に優れたプラスチック光ファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、光を伝送する光ファイバとして石英ガラス製のものとプラスチック製のものとがある。石英ガラス製の光ファイバは、伝送損失が非常に小さいため、長距離の光伝送およびデータ伝送に広く用いられている。一方、プラスチック製の光ファイバは石英ガラス製のものに比べて伝送損失は大きい、軽量であること、大口径で可撓性がよいこと、加工が容易で種々の素子との結合が容易であることなどの利点があり、しかも安価であるためにデータリンク等の短距離伝送用あるいはセンサーなどへの応用が図られている。

【0003】 プラスチック製の光ファイバは屈折率の模式で分類すると、コアとクラッドと呼ばれる 2 層の異なる物質からなり、2 段の屈折率を持つ S I 型（ステップインデックス型）と、ファイバー断面の半径方向に連続した屈折率勾配を有する G I 型（グラジエントインデックス型、屈折率分布型）に分類され、前者は光伝送あるいはセンサーなどに利用されており、後者は伝送帯域が広い利点を利用して近距離大容量通信へ利用が期待されている。

【0004】 現在使用されているプラスチック光ファイバは、コア材としてポリメタクリル酸メチルを、クラッド材として含フッ素ポリマーを用いた S I 型が主流であり、その開口数は約 0.5 である。ここで、開口数とは光ファイバの受光角の限界を表すパラメータであり、光ファイバのコアとクラッドの屈折率差が大きいものほど開口数も大きくなる。すなわち、開口数の大きい光ファイバほど、より大きい角度で入射した光も伝播させる能力があるので、伝送し得る光パワーも大きくなる。また開口数を大きくすることにより、通常は接続損失や曲げ損失についても改善される。このような理由から、従来、開口数のより大きい光ファイバが要求されており、更に、伝送帯域の広いことも要求される。

【0005】 S I 型プラスチック光ファイバの製造方法としては、均一組成の 2 種類の溶融したポリマー液をノズルから吐き出す溶融複合紡糸法が主として採用されている。従って、S I 型プラスチック光ファイバでは、用いる 2 種類のポリマーの屈折率の差を大きくすれば開口数を大きくすることができ、開口数の大きいものを製造することは比較的容易である。

【0006】 一方、ポリマーの組成が光ファイバの半径方向に連続的に変化している G I 型プラスチック光ファイバにおいても、中心部と周辺部との屈折率の差が大きい光ファイバを得る製造方法が提案されている。例えば、特開平 3-78706 号公報によれば、重合体と単量体の混合物の表面から単量体を揮発させて予備的な屈折率勾配を形成した後に、別の単量体を内部へ拡散する方法を用いることにより、中心部と周辺部との屈折率の差が 0.090 の光ファイバが得られる。

【0007】 しかしながら、ポリマーの組成が光ファイバの半径方向に連続的に変化している G I 型プラスチック光ファイバにおいては、単に中心部と周辺部との屈折率の差を大きくするだけでは必ずしも十分ではないことが判明した。すなわち、G I 型プラスチック光ファイバにおいて、広い伝送帯域を有する光ファイバとするためには、屈折率が光ファイバの中心部から周辺部に向かって距離の 2 乗に比例して減少するような屈折率勾配を持つことが理論的に必要である。本発明者らは、G I 型プラスチック光ファイバにおいて、中心部から周辺部に向かって距離の 2 乗に比例して減少するような屈折率勾配が形成され、広い伝送帯域が確保されるためには、中心部と周辺部との屈折率の差は 0.035 以下であることが好ましいことを実験的に見出した。開口数を高くするために、中心部と周辺部との屈折率の差を 0.035 よりも大きくすると、連続的な屈折率勾配の制御が難しく、中心部から周辺部に向かって距離の 2 乗に比例して減少するような屈折率勾配を形成することが困難になり、その結果、製造された G I 型プラスチック光ファイバの伝送帯域は狭くならざるを得ない。前記特開平 3-78706 号公報には、中心部と周辺部との屈折率の差の大きい光ファイバが提案されているが、この方法で得られる光ファイバの伝送帯域は必ずしも満足できるほど広いものではない。すなわち、従来の G I 型プラスチック光ファイバにおいては、開口数が高く、かつ広い伝送帯域を有する光ファイバを得ることは実際上困難であった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述のような事情に鑑み、開口数が高く、かつ広い伝送帯域を有し、耐屈曲性に優れた G I 型プラスチック光ファイバを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、G I 型プラスチック光ファイバにおいて中心部と周辺部との屈折率の差を 0.035 以下とし、周辺部の外側に中心部よりも屈折率が 0.08 以上低い反射層を設けることにより、広い伝送帯域を有し、かつ耐屈曲性に優れた光伝送体を提供するものである。すなわち、本発明の第 1 は、周辺部から中心部に向かって連続的な屈折率勾配を有するプラスチック光ファイバにおいて、内部光を反射させるための反射層として、周辺部の外側に周辺部よりも屈折率が低い層を設けたことを特徴とするプラスチック光ファイバに関するものである。本発明の第 2 は、上記第 1 の発明のプラスチック光ファイバにおいて、中心部と反射層との屈折率の差が 0.08 以上であるプラスチック光ファイバに関するものである。本発明の第 3 は、上記第 1 または第 2 の発明のプラスチック光ファイバにおいて、中心部と周辺部との屈折率の差が 0.035 以下であるプラスチック光ファイバに関するものである。本発明の第 4 は、上記第 1 から第 3 の発明のプラスチック光ファイバにおいて、反射層の厚みが 1~200 μm の範囲であるプラスチック光ファイバに関するものである。本発明の第 5 は、上記第 1 から第 4 の発明のプラスチック光ファイバにおいて、反射層が含フッ素透明樹脂または透明なシリコン樹脂からなるプラスチック光ファイバに関するものである。

【0010】以下、本発明を更に説明する。本発明の G I 型プラスチック光ファイバは、例えば、連続した屈折率勾配を有するプラスチックファイバーを形成する工程と、得られたプラスチックファイバーに反射層を付与する工程により製造することができる。以下に、まず連続した屈折率勾配を有するプラスチックファイバーを形成する工程について述べる。本発明で使用する周辺部から中心部に向かって屈折率勾配を有するプラスチック光ファイバ重合体を作製するには、公知のいかなる方法を用いてもよく、例えばビニル系モノマーのラジカル重合の方法を利用することができる。また、G I 型プラスチック光ファイバの製法には、屈折率勾配を有するプリフォームを製造し、それを加熱延伸して光ファイバを得る方法、および複合紡糸法により屈折率勾配を持つ光ファイバを直接製造する方法がある。

【0011】プリフォームを製造し、それを加熱延伸して光ファイバとする場合には、例えば、回転する円筒内に屈折率の異なる 2 種のモノマー混合液を徐々に供給しながら共重合を行い、モノマー比を徐々に変化させつつ順次円筒内側に向かって重合体を生長させる方法（特開昭 57-185001 号公報）、2 種のビニルモノマー

の反応性比の違いを利用する方法（特開昭 54-30301 号公報）、ポリマーの溶解を利用する方法（特開平 4-97303 号公報）、あるいは 2 種のポリマーの選択拡散効果を利用する方法（特開平 4-97302 号公報）などにより屈折率勾配を有するプリフォームを製造し、それらを延伸紡糸して光ファイバとする方法等を利用することができる。

【0012】また、複合紡糸法により光ファイバを得る場合には、紫外線硬化樹脂を用いた複合紡糸法（特開平 5-142433 号公報）や、重合体と常温で液体の単量体とからなる重合性混合物であって屈折率が異なる 2 種類以上の混合物を、同心円状複合紡糸ノズル等を用いて 2 層以上の積層構造体として所定の形状に賦形し、各層間で重合性混合物中の単量体を相互に拡散移動させると共に成形物の表面より単量体を一部揮発させた後、重合硬化させる方法（特開平 3-192310 号公報）等を利用することができる。

【0013】これらの方法はいずれを採用してもよいが、実用性のあるプラスチック光ファイバは、その製造過程において延伸処理を施すことにより繊維としての腰の強さと引張強度を有することが好ましいので、周辺部から中心部に向かって屈折率勾配を持つプリフォームをあらかじめ製造し、それを延伸紡糸する方法が好ましい。また、これらの方法においては、得られた光ファイバがなだらかな屈折率勾配を有し、広い伝送帯域を有する必要があることから、容器内に上部よりモノマー液を徐々に供給しつつ、容器壁を構成するポリマーをモノマー中に溶解させながら重合反応を進行させる方法を用いてプリフォームを作製し、それを延伸紡糸して光ファイバを得る方法が最も好ましい。

【0014】周辺部から中心部に向かって屈折率勾配を有するプリフォームをあらかじめ製造し、それを加熱延伸して得られた光ファイバには、その製法上、周辺部に屈折率の均一な層が生成するが、本発明の光ファイバは周辺部にそのような屈折率の均一な層があってもよい。例えば、ポリマーパイプ内で重合を行い、パイプを構成するポリマーの溶解を利用する前記特開平 4-97303 号公報に記載された方法によれば、ファイバの最外層としてパイプを構成するポリマーからなる屈折率の均一な層が残存する。本発明でいう周辺部は、このような均一層も含むものである。

【0015】本発明において、周辺部から中心部に向かって屈折率勾配を持つ重合体を製造するために用いるラジカル重合性モノマーは、ラジカル重合活性のある官能基、例えばアリル基、アクリル基、メタクリル基およびビニル基のような二重結合を 1 個以上有するモノマーである。またこれらは、透明な重合体を与え、均一に共重合するものであれば、いかなる組合せでも使用することができる。具体的なモノマーとしては、塩化ビニル、酢酸ビニル、スチレン、 α -メチルスチレン、パラクロロ

スチレン、アクリロニトリル、メタクリロニトリル、フェニル酢酸ビニル、安息香酸ビニル、フッ化ビニル、ビニルナフタレン、フッ化ビニリデン、塩化ビニリデン、アクリル酸メチル、メタクリル酸メチル、アクリル酸エチル、メタクリル酸エチル、アクリル酸ブチル、メタクリル酸ブチル、アクリル酸シクロヘキシル、メタクリル酸シクロヘキシル、アクリル酸フェニル、メタクリル酸フェニル、アクリル酸ベンジル、メタクリル酸ベンジル、アクリル酸ナフチル、メタクリル酸ナフチル、アクリル酸アダマンチル、メタクリル酸アダマンチル、アクリル酸2-ヒドロキシエチル、メタクリル酸2-ヒドロキシエチル、アクリル酸2-フェノキシエチル、メタクリル酸2-フェノキシエチル、アクリル酸グリシジル、メタクリル酸グリシジル、アクリル酸2-メチルグリシジル、メタクリル酸2-メチルグリシジル、アクリル酸2,3-エピチオプロピル、メタクリル酸2,3-エピチオプロピル、アクリル酸パーフルオロアルキル、メタクリル酸パーフルオロアルキル等が挙げられる。

【0016】これらの中で、スチレンおよびアクリル酸系またはメタクリル酸系のモノマー、例えばアクリル酸メチル、メタクリル酸メチル、アクリル酸エチル、メタクリル酸エチル、アクリル酸ブチル、メタクリル酸ブチル、アクリル酸シクロヘキシル、メタクリル酸シクロヘキシル、アクリル酸ベンジル、メタクリル酸ベンジル、アクリル酸パーフルオロアルキルおよびメタクリル酸パーフルオロアルキルが特に好ましい。これらは1種または2種以上の混合物として使用することができ、好ましくは2種以上のモノマーを使用する。2種以上のモノマーを組み合わせる場合、特に好ましいモノマーの組合せの例としては、スチレン／アクリル酸メチル、スチレン／メタクリル酸メチル、アクリル酸メチル（またはメタクリル酸メチル）／アクリル酸ベンジル（またはメタクリル酸ベンジル）、アクリル酸メチル（またはメタクリル酸メチル）／アクリル酸2,2,2-トリフルオロエチル（またはメタクリル酸2,2,2-トリフルオロエチル）等を挙げることができる。更に、これらの中でも、アクリル酸メチルまたはメタクリル酸メチルと、アクリル酸ベンジルまたはメタクリル酸ベンジルとの組合せは、モノマーの入手のし易さ、得られるポリマーの透明度などの点から特に好ましい。もちろん3種以上のモノマーを組み合わせることもできる。

【0017】また、複合紡糸法により光ファイバを得る場合には、上記の単官能モノマーの他に多官能モノマーも用いることができる。多官能モノマーの例としては、ジアクリル酸エチレングリコール、ジメタクリル酸エチレングリコール、ジアクリル酸ジエチレングリコール、ジメタクリル酸ジエチレングリコール、ジアクリル酸トリエチレングリコール、ジメタクリル酸トリエチレングリコール等のジアクリル酸アルキレングリコールまたはジメタクリル酸アルキレングリコール類、ジまたは

トリアクリル酸トリメチロールプロパン、ジまたはトリメタクリル酸トリメチロールプロパン、ジ、トリまたはテトラアクリル酸ペンタエリスリトール、ジ、トリまたはテトラメタクリル酸ペンタエリスリトール、テトラアクリル酸ジグリセリン、テトラメタクリル酸ジグリセリン、ヘキサアクリル酸ジペンタエリスリトール、ヘキサメタクリル酸ジペンタエリスリトール、ポリアクリル酸フッ素化アルキレングリコール、ポリメタクリル酸フッ素化アルキレングリコール、イソシアヌル酸トリス（2-アクリロイルオキシエチル）、イソシアヌル酸トリス（2-メタクリロイルオキシエチル）、ジエチレングリコールビスアリルカーボネート、フタル酸ジアリル、イソフタル酸ジアリル、マレイン酸ジアリル、フマル酸ジアリル等が挙げられる。

【0018】ラジカル重合のための紫外線等の光線の波長や加熱温度などは、採用するモノマーの種類により任意に選択することができる。また、ベンゾイルパーオキサイド（BPO）などの公知のラジカル重合開始剤あるいは光重合増感剤を、必要に応じて任意の量を混合することができる。光、電子線等の放射線による重合と熱重合とを併用することもできる。

【0019】熱ラジカル重合の開始剤としては、例えばBPO、ラウロイルパーオキサイド等のジアシルパーオキサイド類、ケトンパーオキサイド類、パーオキシケタール類、ジアルキルパーオキサイド類、パーオキシエステル類、およびアゾビスイソブチロニトリル、アゾビスイソバレロニトリル等のアゾビス類等を使用することができ、使用量はモノマーの0.1～10重量%である。

【0020】また、光（紫外線）重合の開始剤としては、例えばベンゾインメチルエーテル、ベンゾインエチルエーテル、ベンジルメチルケタール、ヒドロキシフェニルケトン、1,1-ジクロロアセトフェノン、チオキサントン類、あるいはアミンと併用するベンゾフェノン類が挙げられる。

【0021】また必要に応じ、四塩化炭素、四臭化炭素等のアルキルハライド類あるいはブチルメルカプタン、ラウリルメルカプタン、オクチルメルカプタン、ドデシルメルカプタン、2-メルカプトエタノールあるいはチオグリコール酸オクチル等のアルキルメルカプタン類等を分子量調整剤として適宜用いることもできる。また、得られるポリマーの透明性や物性を阻害しない限り、任意の添加剤、例えば酸化防止剤、耐光安定剤などを用いることができる。

【0022】次に、本発明の光ファイバにおいて反射層を設ける方法を説明する。本発明のG I型光ファイバは、光ファイバ内を伝播する光のうちファイバ外へ漏洩しようとする光をファイバ内へ反射させるための反射層を有するため、開口数が大きく、その結果接続損失や曲げ損失についても改善される。更に、通常のG I型光ファイバでは、屈折率分布の乱れやマイクロボイドなどの

構造不整がある場合、あるいは光ファイバを曲げた場合などにも、光ファイバ内を伝播する光が散乱して光ファイバ外に出るため伝送損失が大きくなることもある。それに対して本発明のプラスチック光ファイバは、反射層を有するため、光ファイバ内を伝播する光が散乱しても反射層で反射されて再び光ファイバ内に戻ってくるので、散乱による伝送損失の増大を防ぐことができ、耐屈曲性に優れたものである。

【0023】本発明において、広い伝送帯域を有する光ファイバを得るためには、中心部と周辺部との屈折率の差が0.035以下であることが好ましい。好ましくは、0.001~0.035の範囲である。中心部と周辺部との屈折率の差が0.035よりも大きくなると、連続的な屈折率勾配の制御が難しく、中心部から周辺部に向かって距離の2乗に比例して減少するような屈折率勾配を形成すること、すなわち広い伝送帯域の光ファイバを得ることが困難となるので好ましくない。好ましい屈折率差を有する光ファイバは、適当な屈折率を有する前記モノマーを適宜に選択することにより容易に製造することができる。

【0024】また、高い開口数を有し、耐屈曲性に優れた光ファイバを得るためには、光ファイバの中心部と反射層との屈折率の差は大きければ大きいほどよいが、少なくとも0.08以上であることが適当である。好ましくは0.08~0.99の範囲である。

【0025】本発明における反射層の材料としては、周辺部から中心部に向かって屈折率勾配を持つ重合体ファイバとの密着性がよく、重合体ファイバの中心部よりも屈折率が0.08以上低い透明な重合体であればいずれも用いることができる。具体的には、アクリル酸フッ素化アルキルまたはメタクリル酸フッ素化アルキルの単独重合体および共重合可能なモノマーとの共重合体、フッ化ビニリデンの単独重合体および共重合可能なモノマーとの共重合体、フルオロオレフィン-ビニルエーテル共重合体、フルオロオレフィン-塩化ビニリデン共重合体、パーフルオロ環状エーテル系重合体などの含フッ素透明樹脂およびシリコン樹脂などを挙げることができる。

【0026】反射層を製造するために使用するモノマーの具体例を挙げると、アクリル酸フッ素化アルキルまたはメタクリル酸フッ素化アルキルとしては、例えばアクリル酸2,2,2-トリフルオロエチル、メタクリル酸2,2,2-トリフルオロエチル、アクリル酸2,2,3,3-テトラフルオロプロピル、メタクリル酸2,2,3,3-テトラフルオロプロピル、アクリル酸2,2,3,4,4,4-ヘキサフルオロブチル、メタクリル酸2,2,3,4,4,4-ヘキサフルオロブチル、アクリル酸2,2,3,3,4,4,5,5-オクタフルオロペンチル、メタクリル酸2,2,3,3,4,4,5,5-オクタフルオロペンチル等が挙げられる。これらの中でもアクリル酸2,2,

3,3,4,4,5,5-オクタフルオロペンチルおよびメタクリル酸2,2,3,3,4,4,5,5-オクタフルオロペンチルは、中心部と反射層との屈折率の差を大きくすることができ、高い開口数の光ファイバが得られるので特に好ましい。

【0027】アクリル酸フッ素化アルキルまたはメタクリル酸フッ素化アルキルと共重合可能なモノマーとしては、例えばアクリル酸メチル、メタクリル酸メチル、アクリル酸エチル、メタクリル酸エチル、アクリル酸n-プロピル、メタクリル酸n-プロピル、アクリル酸n-ブチル、メタクリル酸n-ブチル、アクリル酸sec-ブチル、メタクリル酸sec-ブチル、アクリル酸tert-ブチル、メタクリル酸tert-ブチル、アクリル酸n-ヘキシル、メタクリル酸n-ヘキシル等のアクリル酸エステルおよびメタクリル酸エステル類が挙げられ、得られるポリマーの透明性の点からアクリル酸メチルおよびメタクリル酸メチルが最も好ましい。

【0028】また、フッ化ビニリデンと共重合可能なモノマーとしては、例えばテトラフルオロエチレン、ヘキサフルオロプロピレン等が挙げられる。

【0029】本発明のGI型プラスチック光ファイバの反射層の厚みは1~200 μ mであることが好ましく、特に好ましくは3~20 μ mである。反射層の厚みが1 μ m未満であると、反射層の表面に微細な傷が生じた際に、その部分で光が散乱し伝送損失が増加するので好ましくない。一方、反射層の厚みが200 μ mを越えると、実質的に光を伝達するコア相当部の断面積が小さくなり、光ファイバの光伝送量が少なくなるため好ましくない。

【0030】また、反射層を付与する方法は、屈折率勾配を有する光ファイバの製造方法に応じて、それぞれ適当な方法を選ぶことができる。すなわち、複合紡糸法により屈折率勾配を有する光ファイバを直接製造する場合には、まず光ファイバを作製した後に、得られた光ファイバの表面に反射層を塗布する方法が好ましい。

【0031】また、屈折率勾配を有するプリフォームを作製し、それを加熱延伸して光ファイバを製造する場合には、反射層を付与する工程をプリフォームを加熱延伸する工程の前後どちらで行ってもよい。具体的には、

(1) 外周部の屈折率を低くした2層構造を有する円筒状容器を用いて屈折率勾配を有するプリフォームを作り、それを加熱延伸する方法、(2) 屈折率勾配を有するプリフォームの外側に反射層を塗布した後に加熱延伸する方法、(3) 屈折率勾配を有するプリフォームを加熱延伸して得られた光ファイバの表面に反射層を塗布する方法などが例示される。これらはいずれも採用することができるが、(3)の方法が工程的に簡単であり生産性が高いため最も好ましい。

【0032】本発明において、反射層を光ファイバの表面に塗布する場合には、低屈折率の重合体を適当な溶媒

に溶解した溶液を塗布した後に溶媒を揮発させる方法、低屈折率の重合体を溶融し光ファイバに直接付着させる方法、あるいは重合後に低屈折率となる紫外線硬化型塗料を塗布した後に紫外線を照射することにより硬化させる方法などのいずれを用いてもよい。

【0033】光ファイバの表面に低屈折率重合体を溶液として塗布する場合に用いる溶媒としては、重合体に対して溶解性があり、沸点が低く、かつ光ファイバに悪影響を与えない物質を選ぶ必要があり、この点からジクロロメタン、クロロホルム、フロン溶剤等の含ハロゲン炭化水素、ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、クメン等の芳香族炭化水素が好ましく、トルエンおよびキシレンが特に好ましい。

【0034】また、溶媒を揮発させる工程において、乾燥は溶媒が十分に揮発する温度で行わなければならないが、温度が高すぎると光ファイバが収縮して伝送損失が増大するので、75℃以下が好ましく、特に好ましくは60℃以下である。必要に応じて減圧下で乾燥を行ってもよい。

【0035】光ファイバの表面に溶融した低屈折率の重合体を塗布する方法は公知の方法で行うことができ、例えばクロスヘッドダイケープル加工機を用いて押し出被覆する方法等を利用することができる。

【0036】反射層として紫外線硬化型塗料を塗布する場合に、紫外線硬化型塗料としては、重合後に低屈折率となるものであれば公知のいかなる塗料も用いることができるが、一般的には、フッ素系樹脂あるいはシリコン系樹脂からなる塗料が用いられる。紫外線硬化型塗料を塗布し硬化させる方法は公知の方法で行うことができる。

【0037】本発明において得られた反射層を有するGI型プラスチック光ファイバは、保護のために熱可塑性樹脂により適宜に被覆することができる。このような被覆に用いる熱可塑性樹脂としては、ポリエチレン樹脂やポリ塩化ビニル樹脂などが好ましい。また、保護のために光ファイバを熱可塑性樹脂で被覆するためには公知の方法で行うことができ、例えば電線を被覆する通常の方法であるケーブル加工機を用いて行うことができる。

【0038】

【実施例】実施例により本発明を更に説明する。

<実施例1>水平に保持したガラス管内にメタクリル酸メチル(MMA)を入れ、両端をシールした後、回転数1500rpmで回転させながら常法に従い熱重合させることにより、外径20mmおよび内径12mmを有し、分子量7万のポリメタクリル酸メチル(PMMA)からなる中空の重合管を得た。外側のガラス管を壊してこれを除いた後、図4に略示縦断面を示すように、得られた重合管1の片側を封じ、95℃のシリコンオイルの熱媒2の中に垂直に保持して、重合管内にモノマー液面3より0.5cm上部にモノマー供給ノズル4を設

け、連鎖移動剤としてn-ブチルメルカプタン0.2重量%および重合開始剤としてベンゾイルパーオキサイド0.50重量%を加えたメタクリル酸メチル(MMA)とメタクリル酸ベンジル(BzMA)の混合液(仕込重量比4:1)を、ノズルを通して30時間を費やし徐々に一定流量で上部から供給しながら重合させた。重合の間、重合管1を徐々に下方へ移動させて、モノマー供給ノズル4は常にモノマー液面3から0.5cm上部に、またモノマー液面3は常に熱媒体液面より0.5cm上になるように保った。モノマー供給終了後、95℃で20時間熱重合させて長さ60cmのプリフォームロッドを得た。重合が終了した後、0.2mmHgに減圧し、110℃で20時間保持した。プリフォームロッド中の未反応モノマーの含有量を測定したところ、0.5重量%以下であった。このようにして製造したプリフォームロッドを220℃に設定した円筒型加熱炉内で間接加熱しながら熱延伸することにより直径0.7mmの光ファイバを得た。得られた光ファイバについて、横方向干渉法により半径方向の屈折率分布を測定したところ、図2に示すように中心部と周辺部との屈折率の差は0.014であり、屈折率は連続的に分布していることが判った。周辺部に屈折率の均一な層があるが、これは初めに得た中空重合管によるものである。なお、図2において、縦軸は中心部の最大屈折率と任意の半径位置における屈折率との差(Δn)を示す(以下同じ)。開口数0.3の入射光を用い、励振器を使用せずにパルス変調法により求めた伝送帯域(3dB帯域)は151MHz·kmであった。

【0039】続いて、得られた光ファイバの表面に、フルオロオレフィン-ビニルエーテル共重合体(屈折率1.38;商品名:ルミフロン、旭硝子(株)製)の50%キシレン溶液を塗布し、温風で乾燥することによりキシレンを揮発させて厚み10 μ mの反射層を設け、反射層を有する光ファイバを作製した。図1に示すように、中心部と反射層との屈折率の差は0.126であった。このようにして得た反射層を有する光ファイバをポリエチレン樹脂で被覆し、直径1mmの光ファイバコードを得た。得られた光ファイバコードの伝送帯域は206MHz·kmであった。

【0040】続いて、このようにして得た反射層を有する光ファイバコードを2mに切断し、その一端から白色光を入射し、円筒に巻き付ける前の出射光量Aおよび直径20mmの円筒に1回巻き付けたときの出射光量Bを測定し、次式化1により曲げによる損失を算出したところ1.39dBであった。反射層を有しない光ファイバをポリエチレン樹脂で被覆した光ファイバコードの曲げ損失7.45dBに比べて非常に良好な値であった。

【0041】

【化1】

$$\text{曲げ損失 (dB)} = -10 \cdot \log \frac{\text{出射光量 B}}{\text{出射光量 A}}$$

【0042】＜実施例2＞実施例1で製造した直径0.7mmの光ファイバの一部を用い、その表面に紫外線硬化型フッ素系樹脂（硬化後の屈折率1.38；商品名：DEFENZA7702A、大日本インキ化学工業（株）製）を塗布し、80W/cmの高圧水銀灯3本からなる紫外線照射機に連続的に導き、紫外線を20秒照射して厚み10μmの反射層を設け、反射層を有する光ファイバを作製した。中心部と反射層との屈折率の差は0.124であった。このようにして得られた反射層を有する光ファイバをポリエチレン樹脂で被覆し、直径1mmの光ファイバコードを得た。得られた光ファイバコードの曲げ損失は1.51dBであり、反射層を有しない光ファイバコードの7.45dBに比べて非常に良好な値であった。

【0043】＜実施例3＞紫外線硬化型樹脂としてシリコン系樹脂（硬化後の屈折率1.41；商品名：OF163、信越化学工業（株）製）を用いた他は実施例2と同様の操作を行い、反射層を有する光ファイバを得た。中心部と反射層との屈折率の差は0.092であった。このようにして得られた反射層を有する光ファイバを、軟質塩化ビニル樹脂で被覆し、直径1mmの光ファイバコードを得た。得られた光ファイバコードの曲げ損失は1.77dBであり、反射層を有しない光ファイバコードの7.51dBに比べて非常に良好な値であった。

【0044】＜比較例1＞実施例1と同様にして得た円

筒状重合管を用い、MMAとBzMAの仕込重量比を1：2にした以外は実施例1と同様の操作を行い、直径0.7mmの光ファイバを得た。得られた光ファイバの屈折率分布を測定したところ、中心部と周辺部との屈折率の差は0.047であり、図3に示すように疑似SI型の屈折率分布が得られた。また、伝送帯域を測定したところ62MHz・kmであった。

【0045】

【発明の効果】本発明のGI型プラスチック光ファイバは、外周に反射層として屈折率の低い層を設けることにより、高い開口数を確保することができ、接続損失や曲げ損失について著しく改善されている。また、中心部と周辺部との屈折率の差を0.035以下とすることにより、中心部から周辺部へ向かって距離の2乗の比例して減少する屈折率勾配を形成することが容易であり、その結果広い伝送帯域を確保することができる。

【図面の簡単な説明】

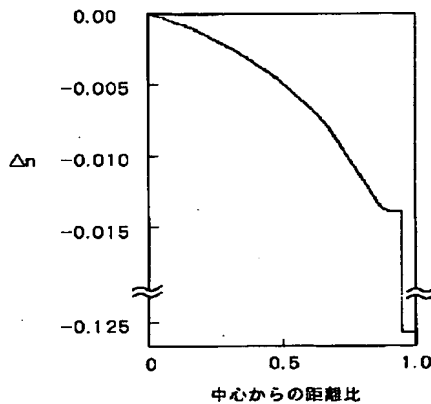
【図1】実施例1のプラスチック光ファイバにおいて反射層を付与した後の半径方向の屈折率分布を示すグラフである。

【図2】実施例1のプラスチック光ファイバにおいて反射層を付与する前の半径方向の屈折率分布を示すグラフである。

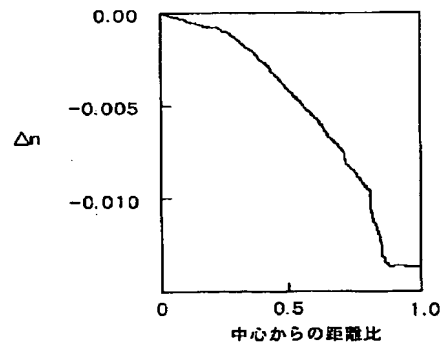
【図3】比較例1のプラスチック光ファイバにおける半径方向の屈折率分布を示すグラフである。

【図4】実施例1で用いた重合体製造装置の略示縦断面図である。

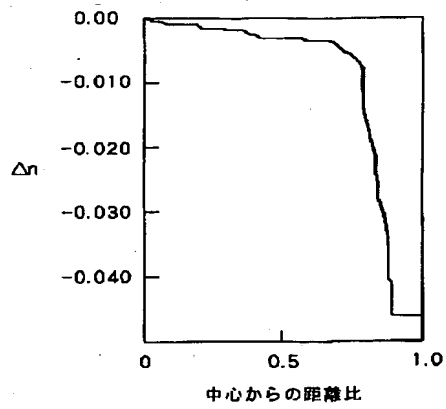
【図1】



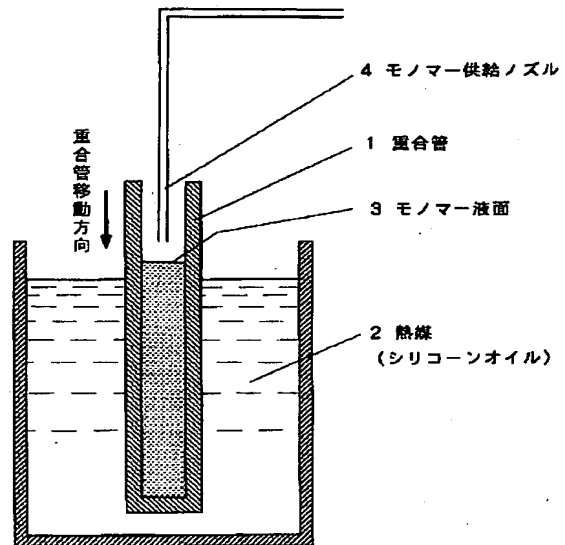
【図2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 清田 昇
神奈川県横浜市港北区仲手原 2-6-12